

巧妙提高光伏效率

太阳每时每刻都向地球输送大量免费、清洁的能源，光伏发电是直接利用太阳能的最佳途径。但目前光伏转换效率较低，成本较高，一时难以大面积推广。人们在通过不同途径苦苦搜寻提高光伏效率的方法，这其中，一个中学生的探索过程很有启发意义。

撰文 / 朱博文（上海交大附中）

随着常规能源日渐减少，人们对于替代能源的探索一直在紧锣密鼓地进行，以保证人类的可持续发展。在所有新能源中，最直接、最便捷、最可靠、大量的当属太阳能了。我们每天都能感受到太阳带给我们的温暖，太阳每时每刻都向地球输送大量的能量，但要作为人类的替代能源，就要能够便捷地转化为动力。实际上，太阳能光伏转化装置相比于其他能源转化装置更加简单轻巧，易于普及，现在国内外有不少建筑就应用了太阳能光伏系统来进行发电。

但是，为什么现在还没有广泛地使用光伏发电呢？这么好的能源为什么让它白白流失掉呢？这个问题一直令我困惑，并常常思索。在查阅一些相关的资料后我发现，光伏发电虽然很好，但目前成本很高，限制了光伏发电的推广。造成高成本的原因除了材料和工艺之外，最根本的原因是现在的光伏技术转换效率较低。怎样才能提高转换效率呢？

为了加深对于平时不很熟悉的太阳能光伏组件的认识，我查阅了太阳能光伏组件的制作过程，并且对于其发电原理进行了研究，同时，还参考了国内外用来提高太阳能光伏转换技术的一些方

法，看看能不能用我学过的知识来提高转换效率？

在研究的过程中我发现，提高转换效率有两个主要途径。一个是改进光电转换材料和转化机制，这需要高深的物理化学知识和大量的实验，基于目前我们所学的知识，在这条高技术路线上可能能力不从心，毕竟我们的知识水平达不到这个高度。另一个途径是改进光能的聚集系统，使得接收到的光能得到最充分的利用。这与我们所学的光学原理有直接联系，因而我把探索方向集中在改进附加的光学器件上。

我首先分析了现有的提高太阳能光伏效率的各种方案，经过比较与分类，发现目前应用广泛的技术普遍是采用聚光器技术，即使用光学器件等来提高太阳光的接收量，从能量源头上提高阳光接收量，进而达到提高总体效率的目的。

对于这种技术思路，我认为是一个很好的方向，在光学器件上做文章比在物理材料上做文章对我来说更加方便。但是目前太阳能光伏系统附加的光学器件普遍有一个问题，就是过于复杂和笨重，尽管在一定程度上提高了光伏转换效率，增加了经济效益，但是由于附加

的光学器件较为复杂，成本增加，因此，这样的光伏系统的经济效益无法得到显著提高。

经过对太阳能光伏组件的核心——太阳能电池结构的研究，初步了解太阳能电池主要是由外壳保护部分（表面的玻璃盖板）和光伏转换部分（电池内部的硅片电池）组成的。为了模拟太阳能电池接收阳光进行光伏转换的场景，我设计了最普通的太阳能电池的简单的物理模型进行分析：假设一束太阳光从宇宙射向地球，射在了太阳能电池表面，首先它在太阳能电池的表面的保护玻璃盖板上会发生镜面反射，一部分光损失，其余的太阳光继续入射，在经过玻璃盖板和硅片电池这个临界面（可以看作作为镜面）时，又有一部分光被反射，余下的太阳光被硅片电池吸收，部分转换为电能。基本光伏转换模拟就是这样的。

于是，问题就集中到了两个点上，分别是保护玻璃盖板和硅片电池这两个物理器件的表面，从分析可知，我们可以通过减少这两个表面对光线的反射（减小反射率）来增加光线的透过率，进而起到增加光伏转换效率的目的。

那么，如何减少太阳光通过玻璃介

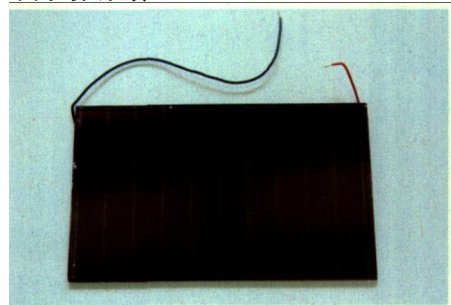
质表面的反射（减反）呢？我参考了很多利用到减反原理的生活用品，比如说照相机的镜头、望远镜等等。我发现很多镜头都采用了增透膜技术。增透膜，顾名思义就是增强光线透过的一种薄膜，它主要应用了薄膜干涉原理达到增透减反的效果。这个发现带来的启发很大，我是否可以模仿照相机镜头，把凸透镜和增透膜这两种物理器件应用到我的设想中呢？凸透镜不但可以聚光，还可增加接收光线的角度；增透膜技术可使太阳能电池吸收更多的太阳光。

经过反复琢磨，最终我得到了这样一个思路：将规格较小的玻璃小球排布在太阳能电池的玻璃盖板表面，在这些小球上面浇涂一层增透膜，等液体的增透膜凝固后，玻璃小球就被黏在玻璃盖板表面。

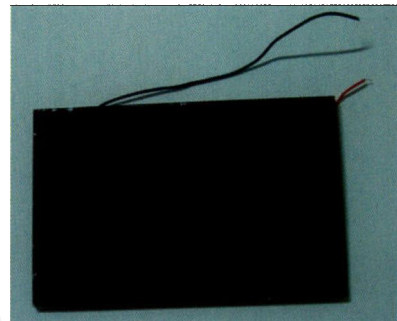
通过分析可以看到，当光线射入镀有玻璃微珠增透膜的太阳能电池上时，因为空气和玻璃微珠这两种介质有一个临界面，光线不可避免地会发生反射现象。但是由于在玻璃微珠表面镀有增透膜，因此光线的反射率会有所降低。当光线进入玻璃微珠介质时，光线发生汇聚，能量得到集中，当光线入射到玻璃基板和玻璃微珠的临界面时，又会发生一次反射，余下的光线经过玻璃基板和硅片电池临界面再发生一次反射，剩余的光线进入硅片电池进行光伏作用。

这样的方法虽然增加了反射次数，但不容忽视的一个地方是，由于采用了玻璃微珠结构（如图），使在太阳能电池板内部（包括膜层）发生反射的光线在

按照实验前设计的实验表格，制作了4种不同的实验样品：



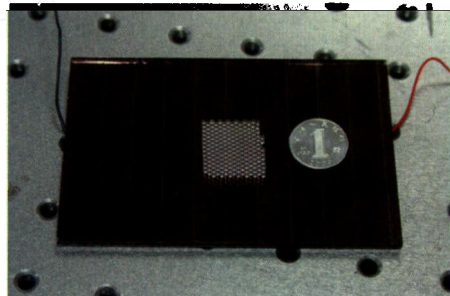
未经处理的太阳能电池基板



镀有增透膜的太阳能电池板



镀有增透膜以及玻璃细砂的太阳能电池板



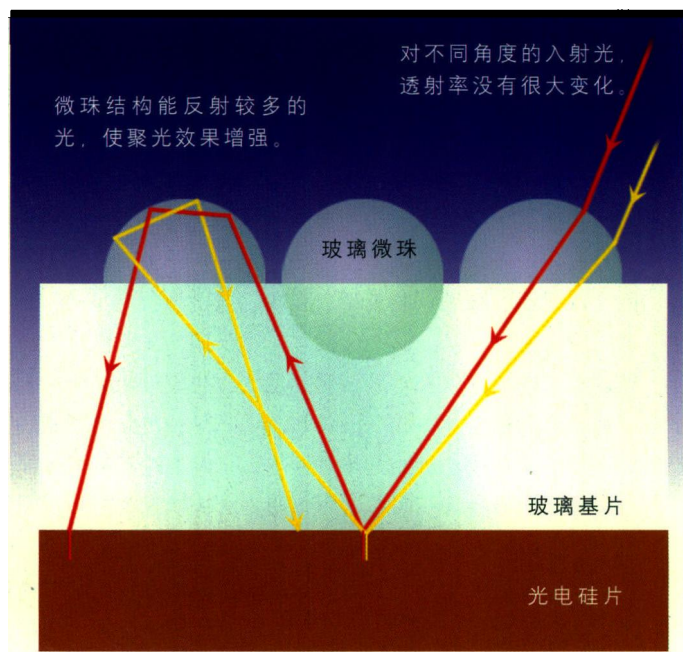
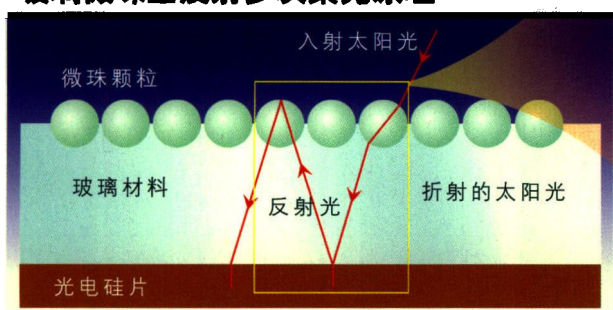
镀有增透膜以及玻璃微珠的太阳能电池板

经过玻璃微珠与大气的临界面时，很大的角度范围会发生全反射现象（由于玻璃微珠折射率大于空气折射率，故易于发生全反射），因此，在第一次入射的时候反射掉的光又会被重新反射回电池板的硅片电池里。这样的反射现象会发生很多次，因此，可以大大减少入射光线的散失。另外，这样的结构对于不同入射角的光线，其入射光与反射光的强度之比没有较大变化，也就是说，光的损失率对入射角度不敏

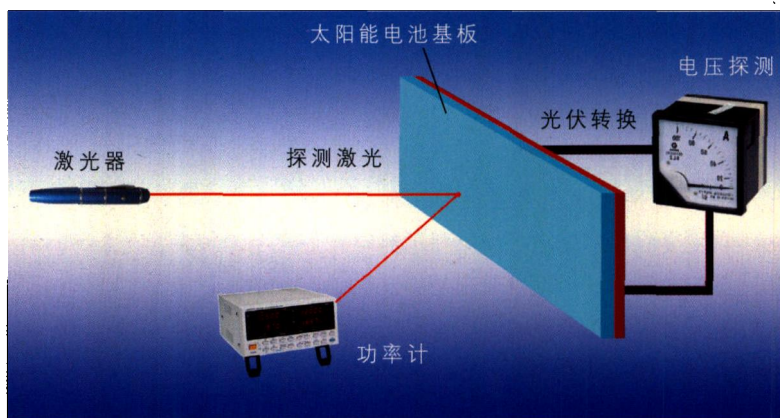
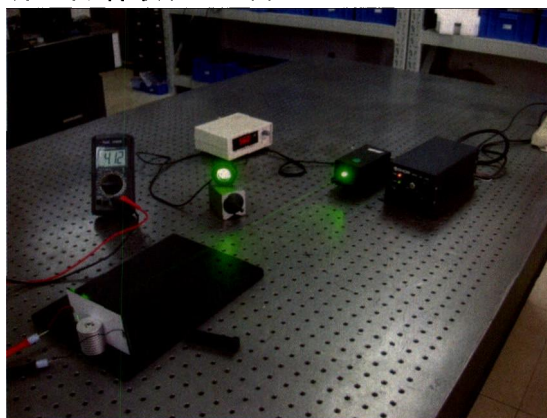
感；而对于平面玻璃来说，入射角增大时，反射光强度明显增强。所以这种结构对于减少反射光非常有效，可以达到提高光伏转换效率的目的。

经过数学计算，我发现只要增透膜、玻璃微珠、玻璃盖板三者之间的折射率相差不大，就可减少三者界面的反射率，增加透光强度。

玻璃微珠全反射多次聚光原理



测试用设备与测试示意图



有了初步的设计, 我开始设法把想法用实验来验证。经过调查, 现在市场上销售的玻璃微珠 (K9 玻璃微珠) 符合实验要求。

我的基本思路是: 制作 4 种镀有不同条件的太阳能电池板, 再将这 4 种电池板在同样的光环境下进行考察, 找到效果最好的一种样板, 即在同样的光环境下, 光伏转换效率最高的一种样板就是最优的。

考虑到太阳光的强度和角度都难以控制, 并不适合这样小规模实验, 因此我反复思考后, 决定采用激光代替太阳光进行实验。经过对于太阳光光谱的分析和硅片电池对于光线波长与其光伏作用效率的响应特性, 我决定采用 500 纳米和 1000 纳米波段的激光束进行实验 (这两种波段的光在光伏转换中效果较为明显, 具有代表性)。

我购置了直径为 1 毫米的 K9 玻璃微珠, 同时购买了百微米玻璃细砂作为对比材料, 15 块太阳能电池板。

同时我借用了中科院上海光机所激光测量平台, 准备了实验测量用的功率计、激光发射器、精密调整支架、量角器等来实施实验。

经过专家的指导以及参考资料, 我学会了镀增透膜的基本方法——溶胶凝胶法。通过溶胶凝胶法镀制的增透膜有均匀性较好、附着性好、可以控制厚度等优点。

制作好 4 种样品之后, 进行了实验装置的搭建 (如上图)。

实验采用激光器作为光源, 激光光线射在玻璃板表面发生反射, 一部分光损失, 使用功率计监测反射的光线能量, 余下的光进入太阳能电池板进行光伏作用, 部分转化为电能, 使用万用表测量太阳能电池板输出电压。

搭建实验平台、制作样品完毕后, 将样品放置在不同光照环境下, 考察光伏转换效率随着光线入射角度的变化 (模拟自然界从日出到日落的过程) 而变化的趋势。

通过两个环境下的实验, 得到了以下两组结果:

可以发现镀有玻璃微珠增透膜的太阳能电池板在角度改变的情况下, 随着入射光线角度的增大, 它的光伏转换效率基本稳定, 相比于其他几种样品, 镀有玻璃微珠增透膜的太阳能电池板的转换效率在入射角较大的情况下较为优秀。经过定量计算, 发现相对于没有镀膜的太阳能电池基板, 该种样品在大角度 (80°) 照射条件下可相对提高光伏转换效率 15.65%。

通过这些实验的验证, 充分证明了最初的设想, 即这种“玻璃微珠增

透膜”技术应用在太阳能电池板上确实能够提高一定的效率。

但是, 这一课题的实验以及样品的制作也存在着不足之处, 将会在进一步实验中对样品进行深入设计, 寻找最优化的镀膜方案和效果更好的材料, 并且在自然环境下对于样品进行测试以获得更加准确的数据。

